

Koefisien Transfer Massa pada Ekstraksi Biji Pala dengan Pelarut Etanol

Sri Sudarmi dan Siswanti

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Jalan SWK 104 Condong Catur Yogyakarta

Abstract

Nutmeg oil could be extracted using ethanol solvent. Design of this extraction equipment needs a few factors. One of the affecting factor is mass transfer coefficient. This research is purposed to learn about mass transfer coefficient on nutmeg extraction using ethanol solvent.

Extraction is done for the powder of nutmeg. After weighting the powder, the powder is put into the fixed bed column. After that, ethanol solvent with specific velocity is flown. Sample taken in some time interval then extraction result will be analyzed. Observed variable is ethanol solvent velocity and high level of nutmeg pile. The observation and calculation results show the relation between mass transfer coefficient with the ethanol solvent velocity and level of nutmeg.

Keywords: extraction, mass transfer coefficient, nutmeg.

Pendahuluan

Ekstraksi merupakan operasi perpindahan massa untuk pemisahan dengan menggunakan pelarut. Peristiwa perpindahan massa suatu komponen dari padatan kedalam cairan pelarut dikenal dengan istilah ekstraksi padat cair.

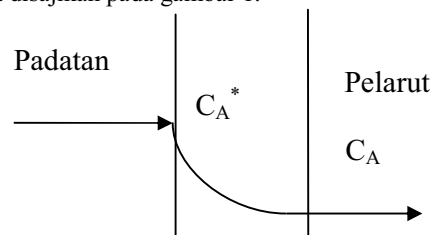
Pengambilan minyak pala dari biji pala dapat dilakukan dengan cara ekstraksi dengan menggunakan pelarut etanol dalam kolom fixed bed. Minyak pala banyak dimanfaatkan oleh industri-industri, diantaranya digunakan dalam industri pengalengan, minuman, dan kosmetik. Selain itu minyak pala juga memiliki daya bunuh yang hebat dan jitu terhadap larva serangga yang dapat mengakibatkan penyakit seperti nyamuk, ataupun serangga hama tanaman. Minyak pala bersama-sama dengan minyak permen (*peppermint oil*) digunakan sebagai penyegar pasta gigi. Selain itu, minyak pala dengan minyak cengkih, vanili, dan minyak cassia banyak dipakai sebagai pancampur aroma tembakau.

Untuk peristiwa ekstraksi nilai Kca dipengaruhi oleh jenis pelarut, kecepatan pelarut, porositas unggun, diameter partikel, dan diameter alat. Untuk dapat digunakan dalam perancangan, maka perlu dikaji dengan hubungan antara Kca dengan variabel-variabel tersebut di atas.

Landasan Teori

Pada proses pengambilan minyak dari fase padat ada beberapa tahap, tahap pertama yaitu difusi *solute* dari dalam padatan ke permukaan padatan, tahap kedua adalah kesetimbangan fase, dan tahap ketiga adalah perpindahan massa dari

permukaan padatan ke pelarut. Proses perpindahan tersebut disajikan pada gambar 1.



Gambar 1.: Transfer massa dari fase padat ke fase cair melalui lapisan film

Perpindahan massa dari permukaan padatan arah aksial dalam cairan berlangsung dengan dua mekanisme, yaitu dibawa aliran dan difusi aksial. Kecepatan difusi aksial didekati dengan persamaan:

$$N_A = -D_{AB} \cdot A \cdot \frac{\partial C_A}{\partial z} \dots\dots\dots(1)$$

(Treyball, 1984)

Perpindahan massa dari permukaan padatan ke cairan ditunjukkan oleh persamaan (Brown, 1987) :

$$N_A = Kca \cdot A \cdot \Delta z \cdot (C_A^* - C_A) \dots\dots\dots(2)$$

Nilai C_A^* menyatakan konsentrasi pada kondisi setimbang pada operasi isothermal didekati dengan persamaan Hukum Henry (Sediawan, 1997) :

$$C_A^* = H \cdot X_A \dots\dots\dots(3)$$

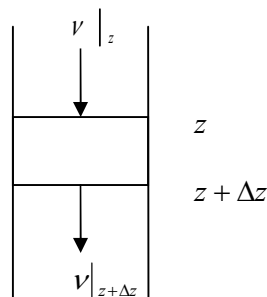
Dari persamaan (2) dan (3) didapatkan:

$$N_A = Kca \cdot A \cdot \Delta z \cdot (H \cdot X_A - C_A) \dots\dots\dots(4)$$

Koefisien perpindahan massa dari padatan ke cairan dihitung dengan menggunakan pendekatan model matematis. Dalam penyusunan model matematis diambil beberapa asumsi :

- Ukuran butiran seragam dan tidak berubah selama proses berlangsung.
- Pola aliran adalah aliran sumbat
- Rapat massa aliran dianggap tetap
- Proses berlangsung secara isothermal.

Persamaan-persamaan untuk proses yang berkaitan dengan ekstraksi padat-cair didekati dengan peninjauan elemen setebal Δz , seperti tersaji dalam gambar 2.



Gambar 2 : Elemen volum padatan dalam kolom

Neraca massa solute dalam cairan untuk elemen setebal Δz adalah:

Rate of input - Rate of output = Rate of accumulation

$$-D_{AB}.A.\frac{\partial C_A}{\partial z}\Big|_z + v.A.C_A\Big|_z - \left[-D_{AB}.A.\frac{\partial C_A}{\partial z}\Big|_{z+\Delta z} + v.A.C_A\Big|_{z+\Delta z} \right] + Kca.A.\Delta z.(1-\varepsilon).(C_A^* - C_A) = A.\Delta z.\varepsilon.\frac{\partial C_A}{\partial t} \quad \text{.....(5)}$$

Difusi diabaikan karena ukuran butiran pala dianggap kecil dan seragam, sehingga menjadi:

$$v.A.C_A\Big|_z - \left[v.A.C_A\Big|_{z+\Delta z} - Kca.A.\Delta z.(1-\varepsilon).(C_A^* - C_A) \right] = A.\Delta z.\varepsilon.\frac{\partial C_A}{\partial t} \quad \text{.....(6)}$$

Dibagi dengan $A.\Delta z$:

$$\frac{v.(C_A\Big|_z - C_A\Big|_{z+\Delta z})}{\Delta z} + Kca.(1-\varepsilon).(C_A^* - C_A) = \varepsilon.\frac{\partial C_A}{\partial t} \quad \text{.....(7)}$$

$$-v.\frac{\partial C_A}{\partial z} + Kca.(1-\varepsilon).(C_A^* - C_A) = \varepsilon.\frac{\partial C_A}{\partial t} \quad \text{.....(8)}$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial z} - \frac{Kca}{v}.(1-\varepsilon).(C_A^* - C_A) = -\varepsilon.\frac{\partial C_A}{v.\partial t} \quad \text{.....(9)}$$

Neraca massa solute dalam padatan untuk elemen volume adalah:

Rate of input - rate of output = rate of accumulation

$$0 - Kca.(C_A^* - C_A).A.\Delta z.(1-\varepsilon) = A.\Delta z.\rho_B.(1-\varepsilon).\frac{\Delta X_A}{\Delta t} \quad \text{.....(10)}$$

Limit $t \rightarrow 0$

$$\frac{\partial X_A}{\partial t} = -\frac{Kca}{\rho_B}.(C_A^* - C_A) \quad \text{.....(11)}$$

Hubungan keseimbangan antara konsentrasi minyak pada permukaan padatan dianggap mengikuti hukum Henry, karena konsentrasi minyak dalam larutan sangat kecil maka dapat dituliskan persamaan sebagai berikut:

$$C_A^* = H.X_A$$

Jadi persamaan differensial untuk ekstraksi

$$\frac{\partial C_A}{\partial z} - \frac{Kca}{v}.(1-\varepsilon).(C_A^* - C_A) = -\varepsilon.\frac{\partial C_A}{v.\partial t} \quad \text{.....(12)}$$

$$\frac{\partial X_A}{\partial t} = -\frac{Kca}{\rho_B}.(H.X_A - C_A) \quad \text{.....(13)}$$

Variabel – variabel yang berpengaruh terhadap koefisien transfer massa (Kca) padat cair dalam kolom bahan isian antara lain: kecepatan aliran pelarut (v), densitas pelarut (ρ), diameter tabung bahan isian (dt), viskositas pelarut (μ), tinggi tumpukan bahan isian (z). Untuk mendapatkan persamaan dari hasil percobaan, dapat digunakan analisis dimensi dengan metode Buckingham sebagai berikut :

$$Kca = f[(Dt), (\rho), (\mu), (v), (z)] \quad \text{.....(14)}$$

Dengan analisa dimensi diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$Kca = K.\left(\frac{\mu}{Dt^2.\rho}\right).\left(\frac{\rho.v.Dt}{\mu}\right)^{C4}.\left(\frac{z}{Dt}\right)^{C5} \quad \text{.....(15)}$$

Metode Penelitian

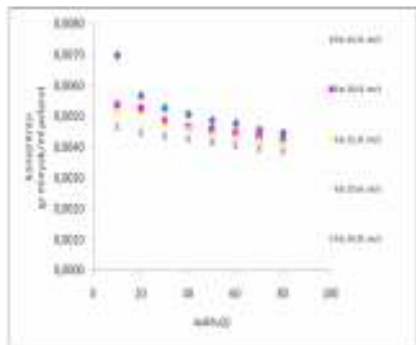
Bahan yang digunakan adalah biji pala dan pelarut etanol. Biji pala sebanyak m gram dengan ukuran tertentu dimasukkan dalam kolom, pelarut etanol dimasukkan dengan kecepatan tertentu pada kolom tersebut. Setelah waktu tertentu sampel diambil untuk dianalisa. Percobaan diulangi lagi untuk perubah tinggi tumpukan.

Hasil dan pembahasan

Pengaruh kecepatan aliran pelarut

Tabel 1. Hubungan antara kecepatan aliran pelarut dengan konsentrasi minyak pala (Ca)

(cm/s)	konsentrasi (gr minyak /ml pelarut) pada waktu(detik)							
	10	20	30	40	50	60	70	80
16,31	0,0070	0,0057	0,0053	0,0051	0,0049	0,0048	0,0046	0,0045
20,61	0,0054	0,0053	0,0049	0,0047	0,0046	0,0045	0,0044	0,0043
23,33	0,0052	0,0051	0,0048	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0042
27,63	0,0049	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0042	0,0041	0,0040
30,35	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0042	0,0041	0,0040	0,0039



Gambar 3.: Hubungan antara waktu pengambilan sample (t) dengan konsentrasi

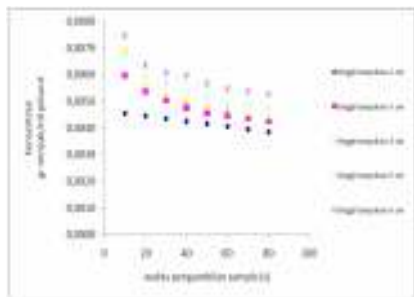
Dari tabel 1 dan gambar 3 terlihat bahwa semakin lama waktu ekstraksi, semakin kecil konsentrasi minyak pala yang dihasilkan karena semakin lama waktu semakin kecil kadar minyak pala yang tertinggal dalam butiran yang menyebabkan konsentrasi lebih kecil. Sedangkan penurunan konsentrasi pada variasi kecepatan aliran disebabkan karena jumlah pelarut yang semakin banyak membuat konsentrasi minyak dalam pelarut mengecil. Massa pelarut yang dialirkan semakin banyak, akibatnya massa *solute* per volume *solven* menjadi lebih kecil.

Hubungan antara tinggi tumpukan dengan konsentrasi minyak pala

Diameter partikel = -16 + 30 mesh
Kecepatan aliran = 16,31 cm/detik

Tabel.2 : Hubungan antara tinggi tumpukan dengan konsentrasi minyak pala (Ca)

tinggi tumpukan (cm)	berat (gram)	konsentrasi (gr minyak /ml pelarut) pada waktu(detik)							
		10	20	30	40	50	60	70	80
2	6,1174	0,0046	0,0045	0,0044	0,0043	0,0042	0,0041	0,0040	0,0039
3	9,1760	0,0060	0,0054	0,0051	0,0048	0,0046	0,0045	0,0044	0,0043
4	12,2347	0,0070	0,0057	0,0053	0,0051	0,0049	0,0048	0,0046	0,0045
5	15,2934	0,0068	0,0060	0,0057	0,0054	0,0052	0,0050	0,0049	0,0048
6	18,3521	0,0075	0,0064	0,0061	0,0060	0,0057	0,0055	0,0054	0,0053



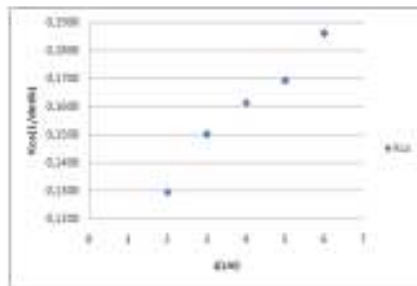
Gambar 4: Hubungan antara waktu pengambilan sample (t) dengan konsentrasi(C_A)

Dari tabel 2 dan gambar 4 terlihat bahwa waktu semakin lama konsentrasi makin kecil dan semakin tinggi tumpukan untuk waktu yang sama konsentrasi makin besar, hal ini disebabkan karena jumlah bahan semakin banyak sehingga jumlah bahan yang dilarutkan juga semakin banyak, membuat konsentrasi minyak dalam pelarut juga semakin besar.

Nilai Optimasi Variabel Penelitian dengan Koefisien Transfer Massa(Kca)

Tabel 3. Nilai optimasi tinggi tumpukan dengan Kca pada kecepatan liner pelarut 16,31 cm/detik

z(cm)	Kca(1/detik)
2	0,129583315
3	0,150103360
4	0,161339599
5	0,169190184
6	0,186044542

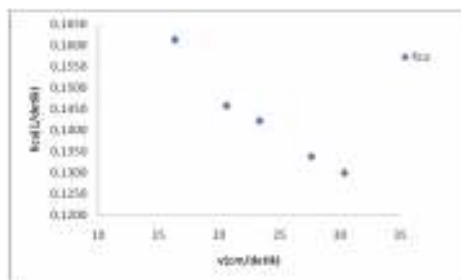


Gambar 5: Hubungan antara tinggi tumpukan dengan koefisien perpindahan massa(Kca)

Dari tabel 3 dan gambar 5 terlihat bahwa semakin tinggi tumpukan bahan maka koefisien transfer massa mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan dengan kecepatan aliran yang tetap dan tinggi tumpukan yang semakin besar maka massa yang dipindahkan akan semakin besar, akibatnya koefisien transfer massanya semakin besar.

Tabel 4 Nilai optimasi kecepatan linier pelarut dengan Kca pada ketinggian serbuk 4 cm

v(cm/detik)	Kca(1/detik)
16,31	0,161339599
20,61	0,145811499
23,33	0,142285828
27,63	0,133842122
30,35	0,130003365



Gambar 6: Hubungan antara kecepatan aliran dengan koefisien perpindahan massa(Kca)

Dari tabel 4 dan gambar 6 terlihat bahwa semakin besar kecepatan aliran maka koefisien transfer massa mengalami penurunan. Hal ini disebabkan dengan tinggi tumpukan yang tetap dan kecepatan aliran yang semakin besar maka massa yang dipindahkan akan semakin kecil, akibatnya koefisien transfer massanya semakin kecil.

Menentukan Persamaan Umum Koefisien Transfer Massa

Pengaruh tinggi tumpukan dan kecepatan laju alir pelarut terhadap konstanta perpindahan massa pada tumpukan terlihat pada persamaan

$$Kca = K \cdot \left(\frac{\mu}{Dt^2 \cdot \rho} \right) \cdot \left(\frac{\rho \cdot v \cdot Dt}{\mu} \right)^{C4} \cdot \left(\frac{z}{Dt} \right)^{C5}$$

$$\ln Kca = \ln K' + C4 \ln \left(\frac{Dt \cdot \rho \cdot v}{\mu} \right) + C5 \ln \left(\frac{z}{Dt} \right)$$

Dari hasil perhitungan diperoleh persamaan umum hubungan antara Kca dengan variabel-variabelnya sebagai berikut:

$$Kca = 0,229 \left(\frac{Dt \cdot \rho \cdot v}{\mu} \right)^{-0,341} \left(\frac{z}{Dt} \right)^{0,31}$$

Kesimpulan

- Kecepatan aliran pelarut makin besar, konsentrasi minyak yang terambil makin besar dan harga koefisien perpindahan massa juga semakin besar.
- Hubungan antara koefisien transfer massa dengan kecepatan aliran dan tinggi tumpukan serta variabel lainnya yang berpengaruh dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$Kca = 0,229 \left(\frac{Dt \cdot \rho \cdot v}{\mu} \right)^{-0,341} \left(\frac{z}{Dt} \right)^{0,31}$$

Persamaan tersebut berlaku untuk kecepatan aliran pelarut dari 16,31 cm/detik sampai 30,35 cm/detik, dan tinggi tumpukan 2 cm sampai 6 cm.

Ucapan terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pungkas Sinangguh dan Putri Indah Hayuningtyas yang telah membantu dalam pengambilan data dalam penelitian ini.

Daftar Notasi

A	= Luas penampang kolom, cm^2
C_A	= Konsentrasi minyak dalam larutan, g/cm^3
C_A^*	= Konsentrasi minyak dalam keseimbangan, g/cm^3
H	= Konstanta Henry
K_{ca}	= Koefisien perpindahan massa volumetris, $1/\text{detik}$
z	= Tinggi tumpukan, cm
M	= berat butiran, g
M_B	= Berat molekul pelarut, g/gmol
N_A	= Laju alir massa (g/detik)
T	= Suhu, $^{\circ}\text{C}$
Θ	= waktu, detik
v	= Kecepatan linier pelarut, cm/detik
X_A	= Kadar minyak dalam pala, %
X_{Ao}	= Kadar minyak mula-mula, %
ρ	= Densitas, g/cm^3
ρ_B	= Bulk density, g/cm^3
ε	= porositas
μ	= viskositas, (g/cm.s)
D_t	= Diameter tabung/ kolom

Teknik Kimia dengan Bahasa Basic dan Fortran", Ed 1, ANDI, Yogyakarta
Sherwood, 1975, "Mass Transfer", John Wiley and Son's Inc, New York
Swern, Daniel, 1964, Bailey's Industrial Oil and Fat Product, 3th ed, Interscience Publisher a Division of John Wiley & Sons, Philadelphia
Treyball, R.E, 1981, "Mass Transfer Operation", 3^{ed}, McGraw Hill Book Company, New York

Daftar Pustaka

- Bird, R.B., Warren E.S., and Edwin N.L., 1960
,"Transport Phenomena", John Wiley & Son's Inc, New York
Brown, G.G., 1950, "Unit Operation", Charles E. Tuttle Co., Tokyo
De Renzo, 1980, "Solvent Safety Handbook", ed.2, pp.78;290, Noyas Data Corporation, Inc., New York
Hardjono, 1985, "Operasi Teknik Kimia II", Edisi Pertama, Jurusan Teknik Kimia, fakultas Teknik UGM, Yogyakarta
Harris, Ruslan, 1987, "Tanaman Minyak Atsiri", Penebar Swadaya, Jakarta
Ketaren, S., 1985, "Pengantar Teknologi Minyak Atsiri", hal.80-83; 332-334, PN Balai Pustaka, Jakarta
Ketaren, S., 1986, "Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan", ed.1, Universitas Indonesia, Jakarta
Ketaren, S., 1987, "Minyak Atsiri", jilid 1, ed.1, Universitas Indonesia, Jakarta
Ramadhan, Eka., 2005, "Pengaruh Konsentrasi Etanol, Suhu dan Jumlah Stage Pada Ekstraksi Oleoresin Jahe (*Zingiber Officinale* Rosc) Secara batch" http://eprints.undip.ac.id/13902/1/laporan_penelitian_pengaruh_konsentrasi_ethanol_suhu_dan_jumlah_stage_pada_ekstraksi_oleoresin_ja.pdf
Rismunandar, 1987, "Budidaya dan tata niaga pala", Penebar Sadaya, Jakarta
Sediawan W. B., Prasetya A., 1997, "Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam